



軟 X 線光電子分光による窒化物半導体上に多層成膜した絶縁膜と半導体界面における電子状態解析

有馬幸記¹、久保俊晴¹、座間秀昭²、小林忠正²、江川孝志¹
名古屋工業大学¹、アルバック²

1. 測定実施日

2016年 11月 9日 10時 – 18時 30分 (2シフト) , BL6N1
2016年 11月 16日 10時 – 18時 30分 (2シフト) , BL6N1
2016年 11月 17日 10時 – 18時 30分 (2シフト) , BL6N1
2016年 11月 30日 10時 – 18時 30分 (2シフト) , BL6N1

2. 概要

Si 基板上的 GaN 系トランジスタは、Si 基板の大口径化により低コストで量産することが可能なため、次世代半導体パワーデバイスとして期待されている。この GaN-on-Si トランジスタでは、ゲートリーク電流の低減、ノーマリオフ（ゲート電圧が 0 V 時にソース・ドレイン間に電流が流れない）化が実用化に向けた大きな課題である。これらの課題を克服するためには、ゲート電極部分に絶縁膜を挟んだ金属/絶縁体/半導体(MIS)構造を用いることが有効であり、我々はこれまで、絶縁膜として Al₂O₃ 膜を採用して Al₂O₃/AlGa_{0.26}N/GaN MIS-HEMT (HEMT: High-electron-mobility transistor) を作製し、その電気特性を調べると共に Al₂O₃/AlGa_{0.26}N 界面の化学状態を軟 X 線光電子分光(soft

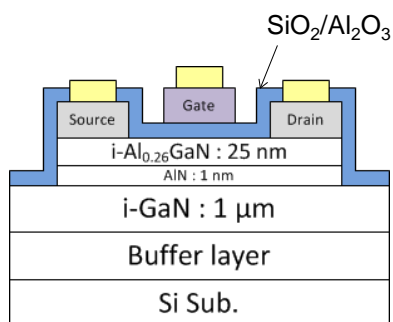


Fig.1 SiO₂/Al₂O₃/AlGa_{0.26}N/GaN MIS-HEMT

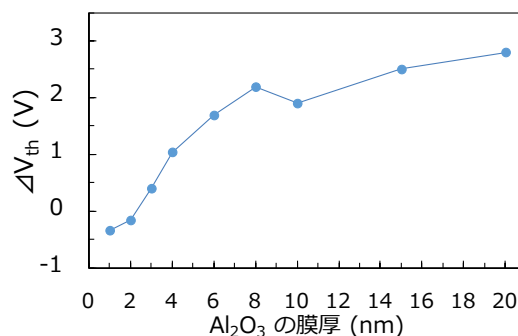


Fig.2 MIS-HEMT における ΔV_{th} と Al₂O₃ の膜厚との関係

XPS)により評価してきた[1, 2]。2016年度の実験では、MIS構造に用いる絶縁膜としてSiO₂/Al₂O₃ 2層膜に着目した(Fig. 1 参照)。2層膜を用い、Al₂O₃膜の膜厚を薄くすることにより、Fig. 2に示すようにMIS-HEMTの閾値電圧シフト ΔV_{th} を低減することができる。しかしながら、2層膜にした場合の ΔV_{th} の低減の機構については不明な点が多いことから、本研究では、SiO₂/Al₂O₃界面近傍における化学状態をSiO₂の膜厚に対して評価した。

3. 背景と研究目的

GaN系トランジスタとして、現在AlGaN/GaN HEMTデバイスが注目され、特にMIS構造について精力的に研究が行われている。本研究では、MIS構造に使用するSiO₂/Al₂O₃ 2層絶縁膜について、SiO₂成膜がAl₂O₃膜に及ぼす影響を評価するため、一般的な光電子分光では得られない、3nmおよび5nm厚のSiO₂膜とAl₂O₃の界面近傍の化学状態について評価を行う。放射光を用いたXPS測定を行い、埋もれたSiO₂/Al₂O₃界面の化学状態を調べ、良好なデバイス動作の鍵となる2層絶縁膜界面近傍の化学状態を明らかにする。

4. 実験内容

測定用試料として、Si基板上のAlGaN/GaN表面にまず成膜温度300°Cで原子層堆積によりAl₂O₃を20 nm成膜し、その後、プラズマCVDにより成膜温度を350°CとしてSiO₂を3nmおよび5nm成膜した。SiO₂の膜厚制御は成膜時間を測定することにより行った。作製した試料について、2keVおよび3keVのX線エネルギーによりXPSスペクトルを取得し、SiO₂/Al₂O₃界面近傍の化学状態を調べた。比較のため、SiO₂を成膜しない試料についても測定を行った。

5. 結果および考察

Al 1sのXPSスペクトルのSiO₂膜厚依存性をそれぞれFig. 3、Fig. 4に示す。XPSスペクトルの補正はC 1sスペクトルのピーク位置を285 eVとして行った。X線エネルギーが2 keVの場合の結果であるFig. 3から、ピーク位

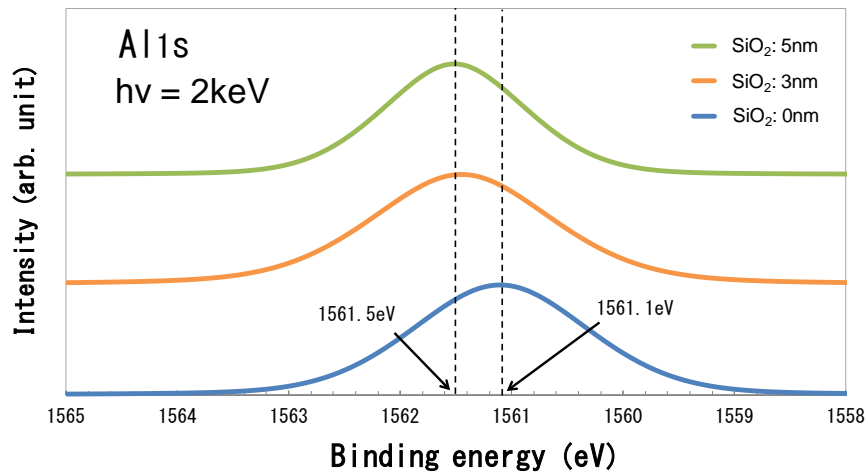


Fig.3 Al 1s スペクトルの SiO₂ 膜厚依存性 ($h\nu = 2\text{keV}$).

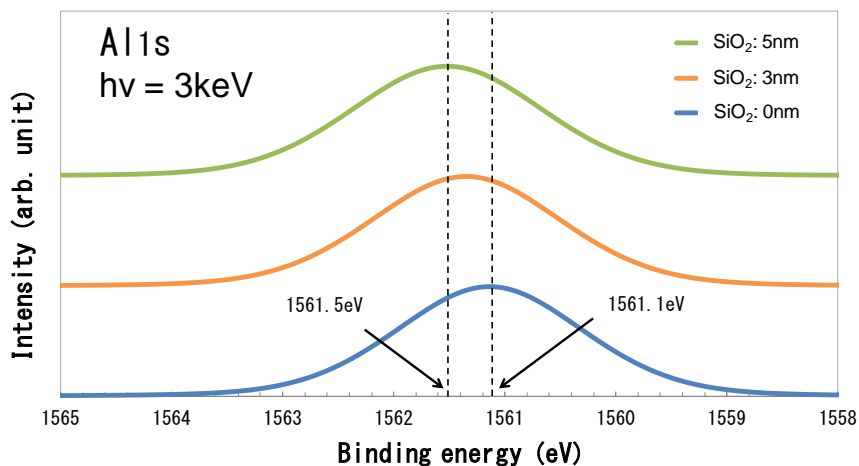


Fig.4 Al 1s スペクトルの SiO₂ 膜厚依存性 ($h\nu = 3\text{keV}$).

は SiO₂ を 3nm 成膜することにより、1561.1 eV から 1561.5 eV へ高束縛エネルギー側へシフトしていることが分かる。このことから、SiO₂ を成膜することにより、Al₂O₃ 表面は酸化が進行していることが示唆される。また、その後、SiO₂ を 5nm 成膜した場合には、ピーク位置の変化は見られなかったことから、Al₂O₃ の酸化は SiO₂ 成膜の初期段階に生じていることが分かった。また、X線エネルギーが 3 keV の場合の結果である Fig. 4 から、SiO₂ を 3nm 成膜した場合には、表面からより深い箇所までの化学状態を測定しているため、ピーク位置が 1561.5 eV まではシフトしていないことが分かる。さらに、SiO₂ を 5 nm 成膜した場合には、SiO₂/Al₂O₃ 界面近傍の化学状態を反映して Fig. 3 と

同様のピーク位置を示していることが分かる。以上の測定深さと X 線エネルギーの関係を図 5 に示した。以上の結果から、プラズマ CVD による SiO₂ 成膜は Al₂O₃ 表面を酸化させていることが分かり、これは、原子層堆積(ALD: Atomic layer deposition)で成膜した Al₂O₃ 中の水酸基や炭素等の不純物が SiO₂ 成膜の際に脱離し、その結果、Al と O の結び付きが強まった結果であると考えられる。

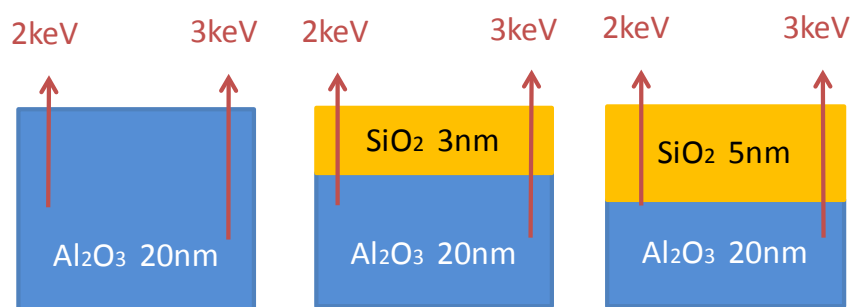


Fig.5 Al 1s 内核準位からの光電子の脱出深さの模式図

6. 今後の課題

今回の実験から、絶縁膜として SiO₂/Al₂O₃ 2 層膜を用いた場合、SiO₂ を成膜することにより、Al₂O₃ の酸化が進行していることが分かった。この現象は SiO₂ の成膜条件に依存すると考えられることから、今後の課題として、SiO₂ をより大きな出力で成膜した場合の化学状態の変化等を評価する必要がある。

7. 参考文献

- [1] T. Kubo, et. al., Semicond. Sci. Technol. 29, 045004 (2014).
- [2] 久保 他: 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 15a-4C-12.